

I. Utilidad de la prueba de esfuerzo y de otros métodos basados en el electrocardiograma en la cardiopatía isquémica crónica

Eduardo Alegría Ezquerro^a, Manuel Alijarde Guimerá^b, Juan Carlos Cordo Mollar^c, Francisco Javier Chorro Gascó^d y Antonio Pajarón López^e

Servicios de Cardiología. ^aClínica Universitaria. Pamplona. ^bHospital Vall d'Hebron. Barcelona.

^cHospital Juan Canalejo. La Coruña. ^dHospital Clínico Universitario. Valencia.

^eHospital Marqués de Valdecilla. Santander.

pruebas de esfuerzo/ registro electrocardiográfico ambulatorio/ electrocardiografía/ frecuencia cardíaca

La prueba de esfuerzo electrocardiográfica sigue ocupando un lugar importante en el manejo de los pacientes con cardiopatía isquémica crónica, no sólo en su diagnóstico sino también en su evaluación pronóstica y funcional, así como en el control de la respuesta a la terapéutica instaurada. Además, el registro ambulatorio del electrocardiograma, el electrocardiograma de alta resolución y el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca proporcionan información que puede ser útil en determinados grupos de pacientes.

En este artículo se revisan los fundamentos, la metodología y las indicaciones de cada una de esas técnicas en el campo de la cardiopatía isquémica crónica, con especial atención a la prueba de esfuerzo. Se realizan también recomendaciones para su empleo en la práctica diaria en nuestro medio.

EXERCISE TESTING AND OTHER METHODS BASED ON ELECTROCARDIOGRAMS: THEIR USEFULNESS IN CHRONIC ISCHEMIC HEART DISEASE

Exercise testing still plays an important role in the management of patients with chronic ischemic heart disease, not only in the diagnosis but also in their prognostic and functional evaluation, and in the assessment of effects of the therapy. Moreover, ambulatory electrocardiography, signal averaged electrocardiography and heart rate variability provide useful information for certain groups of patients.

This paper reviews the rationale, methodology and indications of the above mentioned procedures applied to chronic ischemic heart disease, with special reference to exercise testing. Recommendations for their use in clinical practice are also made.

(*Rev Esp Cardiol* 1997; 50: 6-14)

INTRODUCCIÓN

Este artículo aborda el papel que la prueba de esfuerzo (PE) y otros métodos diagnósticos basados en el electrocardiograma desempeñan en la cardiopatía isquémica crónica. La heterogeneidad del mismo es bien aparente, pues incluye la exploración probablemente más paradigmática, empleada y útil en la cardiopatía isquémica –la PE– con otras que aún deben encontrar su utilidad real en el diagnóstico o la valoración pronóstica.

Todas las técnicas que a continuación se tratarán se refieren a la cardiopatía isquémica crónica: sospecha de cardiopatía isquémica, angina de pecho estable, fase estable después de una angina inestable, postinfarto de miocardio y pacientes con insuficiencia cardíaca. En todos estos casos se analizarán la aplicabilidad y el rendimiento de las diversas pruebas diagnósticas.

Aunque tópica, no es ociosa una breve mención al ámbito de aplicación de estas pruebas. Todos los procedimientos diagnósticos, en general, y las pruebas de esfuerzo en particular, deben indicarse e interpretarse en el contexto clínico del paciente –teniendo siempre en cuenta las características de éste– y en el de la propia prueba, sabiendo exactamente qué podemos esperar de ella. Por tanto, las directrices que a continuación se presentarán deben tomarse únicamente como

Correspondencia: Dr. E. Alegría Ezquerro.
Departamento Cardiovascular. Clínica Universitaria.
Apartado 192. 31080 Pamplona.

guías de apoyo, no como normas de obligado cumplimiento. La experiencia del médico, la situación clínica del paciente y la aplicabilidad de la prueba dictarán, en todo caso, el mejor aprovechamiento del triángulo paciente-médico-prueba en cada situación concreta.

LA PRUEBA DE ESFUERZO CONVENCIONAL

Fundamentos

El ejercicio puede poner en evidencia alteraciones cardiovasculares que no están presentes en reposo y, por tanto, se puede utilizar como medio de valorar la función cardíaca. La respuesta del organismo al ejercicio dinámico consiste en una serie compleja de adaptaciones cardiovasculares para proporcionar a los músculos en actividad el aporte sanguíneo adecuado para sus necesidades metabólicas, disipar el calor generado por dichos músculos activos y mantener el aporte sanguíneo adecuado al cerebro y al corazón. A medida que aumenta el gasto cardíaco durante el ejercicio dinámico, la resistencia periférica aumenta en los órganos y tejidos que no funcionan durante el ejercicio y disminuye en los músculos en actividad¹.

La presencia de diversas anomalías cardiovasculares puede así ponerse de manifiesto por alteraciones de los diversos parámetros que se determinan durante la prueba. Los cuatro *objetivos* básicos del empleo de la PE en el caso de la cardiopatía isquémica crónica son^{2,3}:

1. Valorar la probabilidad de que un individuo presente cardiopatía isquémica significativa (valoración diagnóstica).
2. Estimar la severidad de la enfermedad y la probabilidad de complicaciones cardiovasculares ulteriores (valoración pronóstica).
3. Analizar la capacidad funcional del individuo (valoración funcional).
4. Documentar los efectos de un tratamiento aplicado (valoración terapéutica).

Metodología

Equipamiento

Aunque se han usado diversos y variados métodos, el cicloergómetro y el tapiz rodante (*treadmill*) son los más utilizados y protocolizados.

El cicloergómetro puede ser mecánico o eléctrico, es más económico y ocupa menos espacio que la cinta. El esfuerzo depende de la resistencia progresiva al pedaleo. Están calibrados en kilopondios (kP) o vatios (W). Un W equivale aproximadamente a 6 kilopondímetros por minuto (kpm/min). Para calcular los METS hay que dividir el consumo de oxígeno (en ml/min) por el producto del peso por 3,5.

El tapiz rodante parece más natural, pues consiste en caminar por una cinta sinfín a pendientes progresivas. Durante la prueba se puede permitir al paciente sujetarse en la barra frontal o laterales de los diferentes modelos. Es fácil de calibrar y algo más exacto que la bicicleta ergométrica.

Es aconsejable realizar la prueba en una habitación espaciosa y aireada. Debe tener una temperatura estable, tanto en invierno como en verano, para evitar los riesgos de artefactar los resultados por la acción que ejerce el frío sobre el sistema cardiovascular. Es imprescindible contar con cobertura medicamentosa consistente fundamentalmente en nitroglicerina, lidocaína, soluciones intravenosas, adrenalina, etc. Ante la posibilidad de que puedan presentarse complicaciones eléctricas es absolutamente necesario disponer de desfibrilador y el equipo imprescindible de reanimación. Es precisa la supervisión por un médico entrenado durante la realización de la prueba.

Protocolos

Todos los protocolos existentes incluyen necesariamente la práctica de un ECG basal y uno ortostático. Posteriormente se inicia el esfuerzo, que debe ser continuo, progresivo y con duraciones adecuadas a cada nivel de los distintos protocolos. En la bicicleta ergométrica se suele iniciar con una resistencia entre 10 y 25 W (150 kpm/min) y generalmente se incrementan 25 W cada 2-3 minutos, hasta alcanzar el esfuerzo máximo. En el tapiz rodante existen diversos protocolos, siendo el más utilizado el de Bruce. La capacidad de esfuerzo puede expresarse tanto en METS como en duración del esfuerzo y doble producto del mismo.

Es aconsejable ajustar los protocolos de forma individualizada, adecuándolos al paciente estudiado. El tiempo óptimo para la realización de la prueba y que ésta sea ajustada a la realidad está estimado entre 6 y 12 minutos; si se prolonga puede alterarse por la aparición de otros factores que intervienen en el ejercicio.

Durante la prueba deben monitorizarse de forma continua al menos tres derivaciones del ECG. Al inicio y al final del esfuerzo, así como al comienzo de las alteraciones, debe obtenerse un registro de las doce derivaciones. También debe determinarse la presión arterial al final de cada fase del esfuerzo, además de al inicio y al final del mismo.

Pueden ocurrir cambios tras el esfuerzo, por lo que se aconseja que, una vez terminado éste, el paciente quede en reposo durante un período de 2 a 5 minutos o hasta que vuelva el trazado a la posición inicial.

Interpretación

Debe distinguirse la interpretación según la finalidad con la que se practicó la prueba. Hay que tener en

cuenta que la PE tiene un valor limitado para predecir la presencia o ausencia de cardiopatía isquémica, ya que su valor predictivo depende de la prevalencia. Así, un paciente varón, fumador, con antecedentes de hipercolesterolemia, hipertenso, con historia previa personal o familiar de infarto que refiere un dolor anginoso típico, tiene una probabilidad elevada de padecer cardiopatía isquémica y la probabilidad final de que una PE anormal realmente lo sea es muy alta. Por tanto, probablemente la indicación de la PE no persiga el diagnóstico simplemente, sino la valoración pronóstica, al igual que se aplica a los pacientes que han sufrido un infarto de miocardio. Por el contrario, en los pacientes asintomáticos o con dolor torácico atípico y carentes de los factores de riesgo descritos, la probabilidad de que una PE sea realmente anormal es baja⁴.

Valoración diagnóstica

Al igual que en todos los tests diagnósticos la sensibilidad (S), la especificidad (E) y los valores predictivos de la PE dependen de los criterios de positividad utilizados y de la prevalencia de enfermedad coronaria de la población a la que se aplica la prueba. La exigencia de mayor grado de descenso del segmento ST mejorará la E pero reducirá la S. Lo contrario ocurre cuando se es menos estricto en el establecimiento de los criterios de positividad.

La especificidad promedio de los estudios más conocidos ronda el 85% y la sensibilidad el 65%, con valores entre el 40% para enfermedad de un vaso y el 90% para enfermedad de tres vasos⁵. El valor predictivo para positivos (VPS) se sitúa en torno al 80% y para negativos (VPN) alrededor del 30%⁶.

El número de falsos positivos en poblaciones de baja prevalencia de EC puede alcanzar el 60%, de modo que, como ya se ha mencionado, el valor predictivo de la PE en ellas es reducido⁷.

La información diagnóstica de la PE también es escasa en pacientes con angina típica, por lo que el grupo de pacientes que más se pueden beneficiar de la PE diagnóstica es aquel que tiene una probabilidad pretest de enfermedad coronaria (EC) intermedia (30 al 70%)^{8,9}.

Se entiende como resultado normal (que permite descartar la presencia de cardiopatía isquémica significativa con aceptable certidumbre) cuando se dan todos los hechos enumerados en la **tabla 1**.

Se consideran pruebas anormales indicativas (o diagnósticas si concuerdan con los datos clínicos) de presencia de cardiopatía isquémica cuando aparece alguno de los hallazgos reseñados en la **tabla 2**. Los cambios eléctricos que aparecen únicamente en las derivaciones de cara inferior deben ser más acusados para poder ser considerados relevantes. Otras alteraciones del ECG (aparición de bloqueo de rama izquierda o AV avanzado, arritmias ventriculares graves) también indican anormalidad de la prueba,

TABLA 1
Criterios de normalidad de la prueba de esfuerzo

Ausencia de angina durante la prueba
Incremento progresivo y adecuado de la frecuencia cardíaca y de la presión arterial
Ausencia de elevación o de depresión significativas del segmento ST
Ausencia de arritmias significativas inducidas por el esfuerzo
Capacidad funcional concordante con el nivel de entrenamiento del individuo

TABLA 2
Criterios de anormalidad de la prueba de esfuerzo

Anormalidad	Criterios
Clínica	<ul style="list-style-type: none"> - Angina durante la prueba - Signos de disfunción ventricular izquierda (hipotensión o falta de progresión de la presión arterial, mareo, palidez, sudor frío, náuseas)
ECG *	<ul style="list-style-type: none"> - Descenso del punto J respecto del nivel basal de 0,1 mV o más, seguido de un segmento ST horizontal o descendente a los 60-80 ms - Descenso del punto J respecto del nivel basal seguido de un segmento ST lentamente ascendente que a los 60-80 ms continúa deprimido al menos 0,15 mV por debajo de la línea isoeletrica - Elevación del segmento ST más de 0,2 mV en ausencia de necrosis previa (excepto aVR) - Inversión de la onda U

* Los criterios que se citan no deben ser considerados absolutos, sino que deben matizarse en el contexto clínico de cada paciente.

aunque su valor diagnóstico para la cardiopatía isquémica es menos exacto y depende de la probabilidad previa. Lo mismo sucede con la reducción marcada de la capacidad funcional en relación con la esperada.

Al evaluar el trazado electrocardiográfico, conviene recordar que existen algunas condiciones que dificultan su interpretación^{3,10}. Las más habituales son:

1. Bloqueo avanzado de rama derecha. Los cambios del segmento ST en derivaciones precordiales derechas carecen de valor; lo conservan si se producen en precordiales izquierdas, aunque posiblemente debe exigirse un descenso mayor del ST (0,2 mV o más).

2. Bloqueo avanzado de rama izquierda. No pueden valorarse con precisión los cambios del segmento ST.

3. Síndrome de Wolff-Parkinson-White, signos ECG de hipertrofia ventricular izquierda (miocardiopatía, valvulopatías, hipertensión), prolapso mitral,

depresión del segmento ST de origen desconocido y otras (insuficiencia respiratoria crónica, hipopotasemia, etc.). Existe alta probabilidad de resultados falsos positivos.

4. Hipertensión arterial con ECG basal normal. El significado diagnóstico de las alteraciones del ECG de esfuerzo en estos pacientes es incierto.

5. Efecto de fármacos. Diversos fármacos pueden afectar los resultados del ECG, fundamentalmente por dos mecanismos: *a*) por producir depresiones del segmento ST, lo cual da lugar a pruebas falsamente positivas. En este grupo se incluyen los digitálicos y los diuréticos si producen hipopotasemia significativa. Una PE sin cambios en el segmento ST en un paciente que toma estas medicaciones mantiene, en cambio, su validez, y *b*) por disminuir la frecuencia cardíaca y/o enmascarar la depresión del segmento ST. En este grupo se incluyen los betabloqueantes, los derivados nitrados, los calcioantagonistas, los antiarrítmicos en general, la guanidina y la metildopa. Una PE que muestre depresión del segmento ST bajo el efecto de uno de estos fármacos mantiene su validez.

A partir de las consideraciones anteriores, cuando se realice una PE con fines diagnósticos debe insistirse, como ya se ha señalado anteriormente, en que el paciente no tome, si es posible, medicación alguna con efectos cardiovasculares.

Valoración pronóstica

Se consideran criterios de mal pronóstico derivados de una PE realizada sin medicación, en cuanto a la mayor probabilidad de aparición de accidentes isquémicos agudos y de presentar una enfermedad coronaria severa, los enumerados en la [tabla 3^{2,10,11}](#).

En el infarto de miocardio reciente, los criterios de mal pronóstico son similares. Difiere, en cambio, la interpretación de la elevación del segmento ST inducida por el esfuerzo, que habitualmente se considera índice de alteración de la motilidad de la zona infartada. En ciertos casos también puede sugerir la presencia de isquemia en la misma zona¹².

Valoración funcional

Se utilizan como parámetros de análisis el consumo máximo de oxígeno, medido directamente o estimado, la frecuencia cardíaca alcanzada y la respuesta de la presión arterial. De estas dos últimas ya se hizo mención en el apartado anterior. Respecto al consumo máximo de oxígeno, puede considerarse como anormal la imposibilidad de superar 5 METS en individuos menores de 65 años.

Valoración terapéutica

En el caso del tratamiento antianginoso farmacológico, la PE se utiliza para documentar su eficacia.

TABLA 3
Criterios de mal pronóstico en la prueba de esfuerzo
(realizada sin tratamiento)

-
1. Síntomas (disnea o angina) limitantes del ejercicio a cargas bajas (estadio I en el protocolo de Bruce para la mayoría de los pacientes)
 2. Frecuencia cardíaca menor de 100 lat/min al comienzo de los síntomas limitantes (en ausencia de tratamientos bradicardizantes)
 3. Parámetros en relación con el ST:
 - Comienzo de la depresión a una frecuencia cardíaca espontánea menor de 100 lat/min o 4-5 METS (nivel variable según características del paciente)
 - Magnitud de la depresión > 0,2 mV (salvo situaciones especiales)
 - Duración de la depresión hasta el sexto minuto de la recuperación
 - Depresión en múltiples derivaciones
 - Elevación del ST (a excepción de aVR) (salvo infarto previo)
 4. Inversión de la onda U
 5. Desarrollo de taquicardia ventricular
 6. Disminución de la presión arterial sistólica más de 10 mmHg que se mantiene a pesar de incrementar la intensidad del ejercicio o presión máxima alcanzada menor de 130 mmHg
-

Suele emplearse el *umbral isquémico*, definido por el momento en el que se documenta un descenso del segmento ST superior a 0,1 mV en el ECG. Se denomina umbral anginoso al momento en el que aparece angina típica. Dicho momento se cuantifica por el doble producto frecuencia cardíaca por presión arterial sistólica.

En el paciente revascularizado, la interpretación no es diferente de la ya citada, con la salvedad de las primeras semanas posteriores a la cirugía o la angioplastia, en las que pueden existir respuestas eléctricas inespecíficas de escaso valor diagnóstico.

Indicaciones

Valoración diagnóstica

En general, la PE tiene un valor cuestionable en el *paciente asintomático*. Por lo tanto, se considera indicación relativa en el estudio de varones de más de 40 años con dos o más factores de riesgo, con profesiones especiales o que quieren comenzar un programa de ejercicio.

En el paciente con *dolor torácico*, la actuación médica debe dirigirse a determinar si se trata de una angina de pecho o de otra entidad. El método esencial es la *anamnesis*. Mediante ella, pueden distinguirse tres categorías: *a*) angina típica; *b*) angina atípica, y *c*) dolor torácico no anginoso. La distinción entre las tres es

TABLA 4
Clasificación clínica del dolor torácico
(Diamond, 1983)

Criterios	Definiciones
1. Molestia opresiva en zona torácica anterior, cuello, mandíbula o brazos	Angina típica: Cumple los tres criterios Angina atípica: Cumple dos criterios
2. Desencadenada por el esfuerzo o el estrés psíquico	Dolor torácico no anginoso: Cumple un criterio
3. Alivio claro con el reposo o con la nitroglicerina	

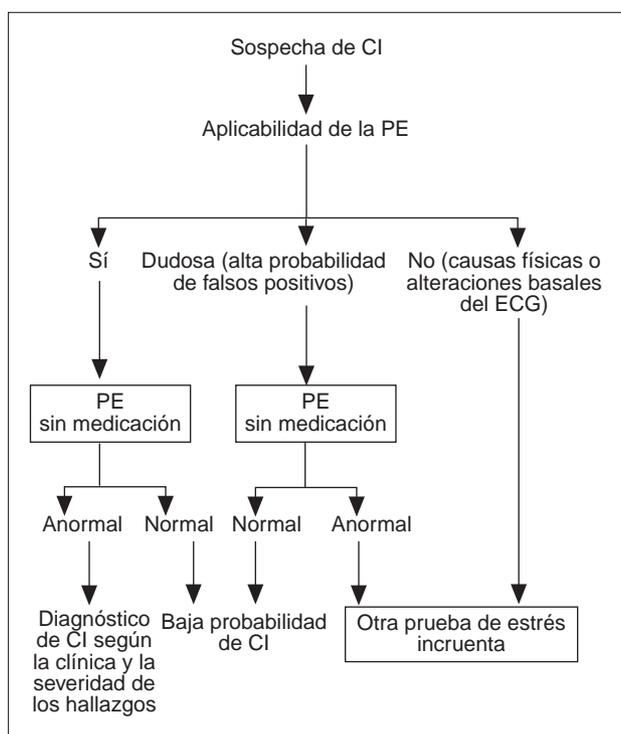


Fig. 1. Estrategia para el diagnóstico de cardiopatía isquémica en los individuos con sospecha de la misma; CI: cardiopatía isquémica; PE: prueba de esfuerzo convencional.

presenta en la **tabla 4**. En todos los casos la PE es el procedimiento diagnóstico básico. Siempre que sea posible debe practicarse sin tratamiento. Según los resultados de la misma, se plantean los estudios específicos de las distintas entidades.

Se consideran indicaciones absolutas²⁻⁴:

- Valoración diagnóstica-pronóstica y estudio de la capacidad funcional en pacientes con angina de pecho o después de un infarto de miocardio.
- Ayuda diagnóstica en pacientes con síntomas atípicos.
- Evaluación de pacientes con síntomas relacionados con arritmias cardíacas recidivantes inducidas por el ejercicio.

- Se consideran indicaciones relativas:
- Estudio después de la revascularización miocárdica.
 - Evaluación de pacientes con angina variante.
 - Valoración de la capacidad funcional o monitorización terapéutica en pacientes con insuficiencia cardíaca y cardiopatía isquémica.
 - Seguimiento periódico de pacientes con patología coronaria conocida.

Valoración pronóstica

Angina estable. Los criterios que indican mal pronóstico (equivalente a patología coronaria avanzada) se enumeraron en la **tabla 3** del apartado anterior.

Angina inestable. Solamente se contempla la PE en la valoración de la angina inestable una vez estabilizada ésta con tratamiento. Se puede considerar estabilizado un cuadro de angina inicial in crescendo o prolongada tras 48 horas sin dolor. No debe practicarse la PE si hay signos de insuficiencia cardíaca o regurgitación mitral importante.

Postinfarto de miocardio. En el paciente que ha padecido un infarto, la PE ocupa un lugar importante en el protocolo de estratificación de riesgo. La estratificación inicial de riesgo se hace según criterios clínicos. Una vez hecho esto, en los pacientes de riesgo bajo o intermedio se indica la PE (o alternativa si ésta no es factible) sin suspender la medicación. El buen resultado de ésta indica, con un alto valor predictivo negativo, el buen pronóstico. En los pacientes de riesgo alto puede obviarse la PE, pues normalmente se envían directamente a coronariografía^{2,13}.

Recomendaciones

Distinguiremos dos situaciones clínicas:

1. El paciente que acude por sospecha de cardiopatía isquémica basada en síntomas, antecedentes o factores de riesgo. El esquema de aplicación de la PE se presenta en la **figura 1**.

2. El paciente ya diagnosticado de cardiopatía isquémica. En estos casos, la PE tiene la misma metodología que las pruebas diagnósticas, aunque su finalidad es la valoración pronóstica o terapéutica. Los escenarios en los que la PE se aplica son los siguientes:

- Angina estable: la PE inicial con tratamiento pretende, fundamentalmente, descubrir los ya citados criterios de alto riesgo. La presencia de los mismos hará remitir al paciente, usualmente, a realizar un estudio coronariográfico. La ausencia de los mismos, en cambio, indica que el paciente presenta un riesgo bajo de complicaciones, por lo que la indicación de otras pruebas depende de la situación clínica.
- Angina inestable controlada: la aplicación de la PE se realiza en las mismas circunstancias que en el caso anterior.

– Postinfarto: a excepción de los pacientes con riesgo alto (insuficiencia cardíaca persistente, disfunción ventricular izquierda importante, isquemia recidivante o arritmias repetitivas), que van directamente a la coronariografía, debe practicarse una PE antes del alta. Después del séptimo día ésta puede ser máxima; si es antes debería ser submáxima. Al igual que en el caso anterior, la presencia de criterios de alto riesgo hace derivar al paciente a la coronariografía; en los pacientes que no los presentan, la indicación de otras pruebas queda a criterio del clínico correspondiente.

– Postangioplastia: la PE debe practicarse solamente si existe recidiva clínica. Los pacientes asintomáticos no precisan estudio ergométrico con finalidad diagnóstica ni de valoración del éxito del procedimiento.

– Poscirugía de revascularización coronaria: los criterios de indicación de la PE son exactamente los mismos que en el caso anterior.

REGISTRO ECG AMBULATORIO

Metodología

Las utilidades del registro ECG ambulatorio (Holter) son principalmente^{14,15}: *a*) evaluar las alteraciones del segmento ST; *b*) evaluar la presencia y severidad de arritmias cardíacas; *c*) analizar la variabilidad de la frecuencia o de los ciclos cardíacos, y *d*) evaluar el intervalo QT.

Interpretación

Isquemia

Se considera *diagnóstico de isquemia miocárdica* en un registro ECG ambulatorio la presencia de depresión del segmento ST de más de 0,1 mV, que dure más de 1 minuto y que esté separada del episodio anterior en más de 1 minuto («regla de los tres unos»).

Se denomina *carga isquémica total* al período (en minutos a lo largo de un período de 24 horas) durante el cual el paciente presenta isquemia. Este parámetro se considera dudosamente relacionado con el pronóstico.

La presencia de *isquemia silente* (signos ECG de isquemia no acompañados de dolor precordial) sólo ha demostrado valor pronóstico en el paciente con angina inestable o infarto previo^{16,17}.

Arritmias

En el período postinfarto, se considera como factor de riesgo independiente la extrasistolia ventricular frecuente (más de 10 extrasístoles a la hora) o formas re-

petitivas (emparejamientos o taquicardia ventricular). Su valor pronóstico aumenta si se acompañan de disfunción ventricular izquierda¹⁸.

Indicaciones

Angina de pecho

La única indicación clara es en el dolor precordial fuertemente indicativo de angina variante. En el resto de casos, puede utilizarse como complemento o sustitución a la información aportada por la PE u otras pruebas de sobrecarga, o para el diagnóstico de la «angina hemodinámica» por arritmias paroxísticas⁹.

Postinfarto

Se utiliza como procedimiento de estratificación del riesgo en el subgrupo de pacientes que presentan alto riesgo de muerte súbita por arritmias ventriculares. Algunos autores han sugerido que la carga isquémica total en estos pacientes puede ser un marcador de riesgo de complicaciones ulteriores^{13,18,19}.

Recomendaciones

El registro del ECG ambulatorio no se considera una exploración de primera línea en el diagnóstico de la cardiopatía isquémica. Puede ser útil para el diagnóstico en algunos casos de angina en reposo o nocturna.

En el aspecto pronóstico, contribuye a la valoración del riesgo de arritmias, principalmente en el postinfarto. No existen, por el momento, recomendaciones específicas para su práctica, que debe quedar al criterio individual.

La contribución del registro Holter al análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca se discute en el apartado siguiente.

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA

Fundamentos

El sistema nervioso autónomo (SNA) modula el funcionamiento del sistema cardiovascular. El análisis de la variabilidad de la frecuencia o de los ciclos cardíacos aporta información sobre la regulación neurovegetativa del ritmo cardíaco y sobre la sensibilidad del nodo sinusal a las acciones del sistema neurohumoral. Por ello, es una herramienta útil para objetivar las modificaciones neurovegetativas espontáneas o secundarias a procesos patológicos o a la aplicación de medidas terapéuticas.

TABLA 5
Indicadores de variabilidad en el dominio del tiempo

SDNN: desviación estándar de los intervalos RR obtenidos en 24 h (ms)

Índice triangular: cociente entre el número total de intervalos RR y la altura del histograma de la distribución de los intervalos RR obtenidos en 24 h

SDANN: desviación estándar de los promedios de los intervalos RR obtenidos cada 5 minutos a lo largo de las 24 h (ms)

pNN50: número relativo de intervalos RR cuyas diferencias con respecto al precedente han sido mayores de 50 ms durante los registros de 24 h (%)

Índice SDNN: promedio de las desviaciones estándar de los intervalos RR obtenidos cada 5 minutos a lo largo de 24 h (ms)

rMSSD: raíz cuadrada del promedio de las diferencias al cuadrado entre los intervalos RR consecutivos (ms)

TABLA 6
Indicadores de variabilidad en el dominio de la frecuencia

TP: energía total del espectro de frecuencias (entre 0 y 0,40 Hz) (ms²)

ULF: energía de la banda de frecuencias ultrabajas (entre 0 y 0,0033 Hz) (ms²)

VLF: energía de la banda de frecuencias muy bajas (entre 0,0033 y 0,04 Hz) (ms²)

LF: energía de la banda de frecuencias bajas (entre 0,04 y 0,15 Hz) (ms²)

HF: energía de la banda de frecuencias altas (entre 0,15 y 0,40 Hz) (ms²)

En diversas cardiopatías se altera la actividad del SNA primariamente o como respuesta a las alteraciones hemodinámicas producidas por la enfermedad. Asimismo, la modificación de la actividad neurohumoral condiciona la aparición de complicaciones clínicas que pueden determinar la evolución de la enfermedad. Por ello, el análisis de la variabilidad de la frecuencia o de los ciclos cardíacos y de los indicadores de la actividad neurovegetativa obtenidos a partir del mismo puede proporcionar información sobre el pronóstico en determinadas cardiopatías.

En la cardiopatía isquémica, la utilización del análisis de la variabilidad ha permitido obtener indicadores pronósticos basados en técnicas no invasivas y poco costosas, contribuyendo así a la estratificación del riesgo tras el infarto de miocardio. Estos indicadores se añaden a los basados en la detección de isquemia miocárdica, en la valoración de la extensión de la afectación coronaria, en la disminución de la función ventricular o en la aparición de arritmias ventriculares.

TABLA 7
Correspondencia entre los indicadores en los dominios del tiempo y de la frecuencia

Dominio del tiempo	Dominio de la frecuencia
rMSSD y pNN50	HF
Índice SDNN	LF y VLF
SDANN	ULF
SDNN e índice triangular	TP

En diversos trabajos, casi todos ellos retrospectivos, se ha podido demostrar que la disminución de la variabilidad de la frecuencia cardíaca permite identificar, aisladamente o en combinación con otros indicadores pronósticos clásicos, subgrupos de pacientes con riesgo alto de muerte o de complicaciones, especialmente arrítmicas, incluso con mayor sensibilidad y/o especificidad que otros predictores convencionales derivados del análisis de la función ventricular o de la clase funcional de los pacientes. A su vez, mediante el análisis de la variabilidad se pueden identificar los pacientes con riesgo bajo de complicaciones²⁰.

Metodología

Los procedimientos de análisis de la variabilidad se basan en la determinación de parámetros en el dominio del tiempo, en el de la frecuencia o en procedimientos mixtos como la demodulación compleja^{21,22}. Los índices en el dominio del tiempo (tabla 5) se basan en la cuantificación de las variaciones de los ciclos o de la frecuencia cardíaca durante períodos de tiempo preseleccionados. El análisis se puede efectuar a partir de registros ECG de 24 horas o en registros cortos. En el dominio de la frecuencia (tabla 6) se descompone la serie temporal formada por los ciclos R-R consecutivos en los componentes periódicos que la componen, utilizando métodos autorregresivos o basados en el análisis de Fourier. Los indicadores obtenidos en ambos dominios tienen una correspondencia y son en gran medida intercambiables, especialmente en los registros de 24 horas (tabla 7).

Uno de los problemas que han surgido al aplicar el análisis de la variabilidad de la frecuencia o de los ciclos cardíacos a los estudios clínicos es la falta de uniformidad en relación con las técnicas y parámetros que se pueden utilizar en este tipo de análisis, que ha planteado la necesidad de una unificación de métodos, medidas e indicadores. Existe acuerdo en cuanto a la aceptación de determinados puntos de corte para establecer si la variabilidad está o no deprimida. Así, en los análisis de registros de 24 horas y al utilizar parámetros en el dominio del tiempo se admite que una desviación estándar de los intervalos obtenidos en registros de 24 horas (SDNN) < 50 ms

TABLA 8
Criterios para el diagnóstico de la presencia de potenciales tardíos

Parámetro	Abreviatura	Valor
Duración del complejo QRS filtrado	QRSD	> 114 ms
Raíz cuadrada del voltaje en los últimos 40 ms de la onda		
magnitud del vector	RMS 40	< 20
microV		
Duración del final de la onda		
magnitud del vector por debajo del umbral de 40 µV	LAS	> 38 ms

o un índice triangular < 15 indica una variabilidad muy disminuida. Valores del SDNN entre 50 y 100 ms o un índice triangular entre 15 y 20 indican una variabilidad moderadamente disminuida. Existe menos acuerdo a la hora de utilizar los índices derivados del análisis en el dominio de la frecuencia, ya que los métodos de obtención son dispares y por ello lo aconsejable es disponer de los valores normales obtenidos por el equipo de trabajo en sus grupos de control.

Indicaciones

El análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca permite obtener predictores de riesgo tras el infarto de miocardio, ya que la disminución de la variabilidad predice tanto la mortalidad global como las complicaciones arrítmicas: en el primer caso con un poder predictivo similar al de otros indicadores establecidos como la fracción de eyección, y en el segundo caso con un poder predictivo mayor²⁰. Sin embargo, su empleo rutinario aún no está aceptado de forma unánime en la práctica clínica actual.

ELECTROCARDIOGRAMA PROMEDIADO DE ALTA RESOLUCIÓN

Fundamentos

La electrocardiografía de alta resolución mediante la promediación de señales permite la identificación de señales eléctricas de baja amplitud en la porción final del QRS. Estos potenciales tardíos se han relacionado con la existencia de sustrato arritmógeno y, por lo tanto, con una mayor probabilidad de complicaciones arrítmicas en diversas cardiopatías²³. Los parámetros más utilizados para considerar la existencia de dichos potenciales se presentan en la **tabla 8**.

Indicaciones

Está establecida la utilidad de la electrocardiografía de alta resolución para la identificación de pacientes con riesgo de taquiarritmias ventriculares tras el infarto de miocardio y, por lo tanto, es útil en la estratificación del riesgo de estos pacientes²⁴. Se recomienda obtener los registros dentro de las dos primeras semanas tras el infarto. Sin embargo, el empleo de esta técnica en la estratificación de riesgo aisladamente está limitada por los bajos valores de sensibilidad y valor predictivo positivo. Tiene mayor valor cuando se asocia a otras pruebas de estratificación (ergometría y/o estudios de función ventricular) para decidir qué pacientes deben ser estudiados con técnicas invasivas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aljarde M, Vidal JM, Palazuelos V. Indicaciones y técnicas actuales de la prueba de esfuerzo. En: Normas de Actuación Clínica en Cardiología. Madrid: Sociedad Española de Cardiología, 1996; 384-393.
2. American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Assessment of Cardiovascular Procedures: Guidelines for exercise testing. J Am Coll Cardiol 1986; 8: 725-738.
3. European Society Working Group on Exercise Physiology, Physiopathology and Electrocardiography. Guidelines for cardiac exercise testing. Eur Heart J 1993; 14: 969-988.
4. Cordo JC, Asín E, Fernández C, García M, Magriñá J, Marín E et al. Grupo de Estudio de Angina de Pecho de la Sociedad Española de Cardiología. Métodos diagnósticos en la angina de pecho. Rev Esp Cardiol 1995; 48: 383-393.
5. Fletcher GF, Balady G, Froelicher VF, Hartley LH, Haskell WL, Pollock ML. Exercise standards. A statement for health professionals from the American Heart Association. Circulation 1990; 82: 2.286-2.322.
6. Gianrossi R, Detrano R, Mulvihill D, Lehmann K, Dubach P, Colombo A et al. Exercise-induced ST depression in the diagnosis of coronary artery disease. A meta-analysis. Circulation 1989; 80: 87-95.
7. Redwood DR, Borer JS, Epstein SE. Whither the ST segment during exercise. Circulation 1976; 54: 703-706.
8. Epstein SE. Implications of probability analysis on the strategy used for noninvasive detection of coronary artery disease. Role of single or combined use of exercise electrocardiographic testing, radionuclide cineangiography and myocardial perfusion imaging. Am J Cardiol 1980; 46: 491-499.
9. Chaitman B. Las pruebas de esfuerzo. En: Braunwald E, editor. Tratado de Cardiología. Medicina Cardiovascular (4.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España, 1993; 177-197.
10. American Heart Association. Exercise standards. A statement for healthcare professionals. Circulation 1995; 91: 580-615.
11. Mark DB, Shaw L, Harrell FE Jr, Hlatky MA, Lee KL, Bengston JR et al. Prognosis value of a treadmill exercise score in outpatients with suspected coronary artery disease. N Engl J Med 1991; 325: 849-853.
12. Margonato A, Chierchia SL, Xuereb RG, Xuereb MA, Fragasso G, Cappelletti A et al. Specificity and sensitivity of exercise-induced ST segment elevation for detection of residual viability: comparison with fluorodeoxyglucose and positron emission tomography. J Am Coll Cardiol 1995; 25: 1.032-1.038.

13. The Task Force on the Management of Acute Myocardial Infarction of the European Society of Cardiology. Acute myocardial infarction: pre-hospital and in-hospital management. *Eur Heart J* 1996; 17: 43-63.
14. ACC/AHA Task Force on Assessment of Diagnostic and Therapeutic Cardiovascular Procedures (Subcommittee on Ambulatory Electrocardiography). Guidelines for ambulatory electrocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1989; 13: 249-258.
15. American Heart Association/American College of Cardiology. AHA/ACC guidelines on clinical competence in ambulatory electrocardiography. *Circulation* 1993; 88: 337-341.
16. Gottlieb SO, Weisfeldt ML, Ouyang P, Mellits ED, Gerstenblith G. Silent ischemia predicts infarction and death during two year follow-up of unstable angina. *J Am Coll Cardiol* 1987; 10: 756-760.
17. Tzivoni D, Gavish A, Zin D, Gottlieb S, Moriel M, Keren A et al. Prognostic significance of ischemic episodes in patients with previous myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1988; 62: 661-664.
18. Arós F, Loma-Osorio A, Torres A. Estratificación del riesgo arrítmico y opciones terapéuticas en los supervivientes de infarto agudo de miocardio. *Rev Esp Cardiol* 1996; 49: 157-165.
19. Ruberman W, Crow R, Rosenberg C, Rautaharju P, Shore R, Pasternak B. Intermittent ST depression and mortality after myocardial infarction. *Circulation* 1992; 85: 1.440-1.446.
20. Van Ravenswaaij-Arts CMA, Kollée LAA, Hopman JCW, Stoenngna GBA, Van Geijn HP. Heart rate variability. *Ann Intern Med* 1993; 118: 436-447
21. Fei L, Malik M. Heart rate variability. Methodology and physiological basis. En: Aubert AE, Inclor H, Strobandt L, editores. *Cardiac Pacing and Electrophysiology*. La Haya: Kluwer Academic Publishers, 1994; 49-62.
22. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation* 1996; 93: 1.043-1.065.
23. Cain ME, Anderson JL, Arnsdorf MF, Moson JW, Scheinman MM, Waldo AL. Signal averaged electrocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 238-249.
24. García Civera R, Sanjuán R. Valor pronóstico de la electrocardiografía de alta resolución en pacientes postinfarto de miocardio. *Rev Esp Cardiol* 1993; 46: 685-687.